

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

12

В.Н. Л а у т

ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ  
СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ  
ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ  
НА ТРУБКАХ С БАРЬЕРНОЙ  
СЕТКОЙ

МОСКВА - 1958

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

В.Н. Лаут

ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ  
ДЛЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ТРУБКАХ С  
БАРЬЕРНОЙ СЕТКОЙ

Москва - 1958

ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ  
УСТРОЙСТВ НА ТРУБКАХ С БАРЬЕРНОЙ СЕТКОЙ

При использовании запоминающих трубок с барьерной сеткой возникает трудность подавления помехи от импульса записи на входе усилителя считывания. В работе описывается трансформаторная схема, обеспечивающая подавление этой помехи до величины, не превышающей полезный сигнал, даже при больших амплитудах и крутых фронтах импульса записи. Схема может применяться в запоминающих устройствах, рассчитанных на время обращения к памяти порядка 2 мксек.

READING TRANSFORMER CIRCUITS FOR STORAGE UNITS  
USING BARRIER-GRID MEMORY TUBES

In operating barrier-grid memory tubes some difficulty in write-pulse disturbance suppression at reading amplifier input is encountered.

The transformer circuit permitting disturbance suppression to value not greater than useful signal, even for large-amplitude and sharp-edge read-pulse is described. This circuit can be used in storage units with approxiametly 2  $\mu$  sec access time.

---

## ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ СХЕМЫ СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ТРУБКАХ С БАРЬЕРНОЙ СЕТКОЙ

Одной из причин, мешающих увеличению скорости счета вычислительных машин, является сравнительно малое быстродействие оперативных запоминающих устройств. В последнее время как за рубежом, так и в Советском Союзе производятся исследовательские работы по разработке трубок с барьерной сеткой для запоминающих устройств с большим быстродействием и емкостью до 4096 элементов.

Время обращения к памяти, построенной на электронно-лучевых трубках, зависит от трех величин:

- а) времени, необходимого для непосредственной записи кода в трубку или считывания его ( $t_T$ );
- б) времени дешифрации двоичного кода адреса в пропорциональное ему напряжение, подаваемое на отклоняющие пластины трубок ( $t_a$ );
- в) времени успокоения усилителя считываемых сигналов после подачи на сигнальную пластину трубы импульса записи ( $t_y$ ).

Ввиду того, что успокоение усилителя после записи может происходить одновременно с дешифрацией нового адреса, полное время обращения к памяти  $t_o = t_T + t_y$  в случае, если  $t_y > t_a$ , или  $t_o = t_T + t_a$ , если  $t_a > t_y$ .

Современные трубы позволяют получить  $t_T$  от 0,5 до 0,8 мксек. Однако для реализации такого быстродействия требуются новые схемы выборки адреса и схемы подавления импульса записи на входе усилителя, обеспечивающие полное время обращения около 1,5-2 мксек. Рассмотрению вопроса подавления помехи на входе усилителя во время подачи импульса записи для уменьшения времени успокоения усилителя и посвящается настоящая работа.

В трубках с барьерной сеткой импульс записи подается на сигнальную пластину, к которой подключен и усилитель считываемых сигналов. Для предотвращения попадания на вход усилителя импульса записи, превышающего по амплитуде считываемый сигнал в несколько тысяч раз, применяются схемы подавления импульса записи на входе усилителя. Нами была разработана в 1956 г. схема, использующая трансформатор с двумя обмотками (рис.1).

Импульс записи  $E$  подается на сигнальную пластину трубки через обмотку  $L_1$ , связанную индуктивно с обмоткой  $L_2$ , включенной между сеткой трубы и землей. Предположим, что обе обмотки одинаковы, т.е.  $L_1 = L_2$ , и связь между ними полная ( $M=L_1=L_2$  и коэффициент связи  $k=\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}=1$ ).

Физически это означает, что магнитный поток, создаваемый током любой обмотки, целиком пронизывает все витки другой.

При подаче импульса записи через обе обмотки потечет ток зарядки сетка - сигнальная пластина  $C_{\Pi}$ . Поскольку этот ток течет через обе обмотки в разных направлениях, магнитные потоки, создаваемые

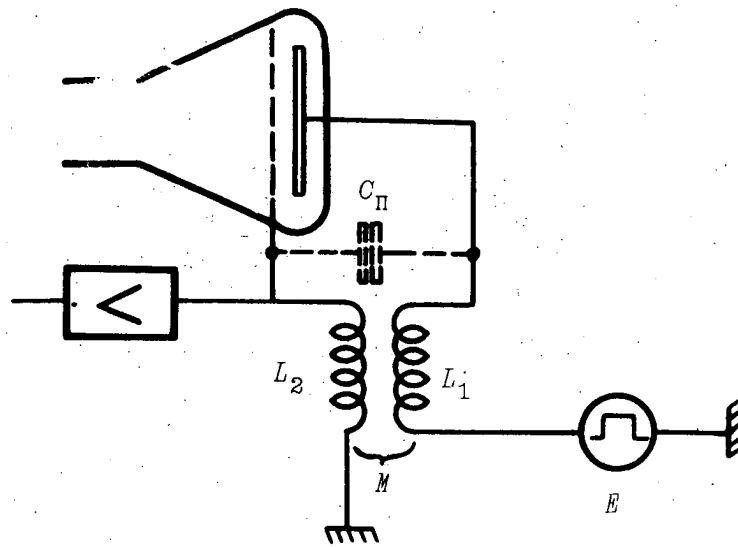


Рис. 1

первой и второй обмотками, скомпенсируют друг друга, а следовательно, падения напряжения на  $L_1$  и  $L_2$  не будет. Компенсация не зависит от формы и полярности импульса записи.

При считывании ток сигнала потечет от сигнальной пластины через  $L_1$  к источнику импульсов записи и через емкость  $C_{\Pi}$  и обмотку  $L_2$  на землю. Эти два тока создают суммарный магнитный поток, пропорциональный току сигнала, и на выходе усилителя возникает импульс напряжения. Очевидно, емкость сетка - сигнальная пластина трубы  $C_{\Pi}$  не оказывает шунтирующего действия на ток сигнала, что является также положительным свойством схемы.

Поскольку связь между обмотками практически не может быть полной и активное сопротивление обмотки не равно нулю, эквивалентная схема связанных катушек оказывается такой, как изображено на рис.2. Здесь  $L_{1C}$  и  $L_{2C}$  обозначают индуктивности связи,  $L_{1p}$  и  $L_{2p}$  - индуктивности рассеяния и  $R_1$  и  $R_2$  - активные сопротивления обмоток, а  $C_{\Pi}$  - емкость между сеткой и сигнальной пластиной. Индуктивности связи  $L_{1C}$  и  $L_{2C}$  связаны между собой общим магнитным потоком так, что  $M = \sqrt{L_{1C}L_{2C}} = k\sqrt{L_1L_2}$ , где  $k$  - коэффициент связи обмоток  $L_1$  и  $L_2$ .

Пренебрегая активным сопротивлением обмоток, можем написать выражение для напряжения в точке  $A$  схемы при подаче импульса записи  $E$  в опе-

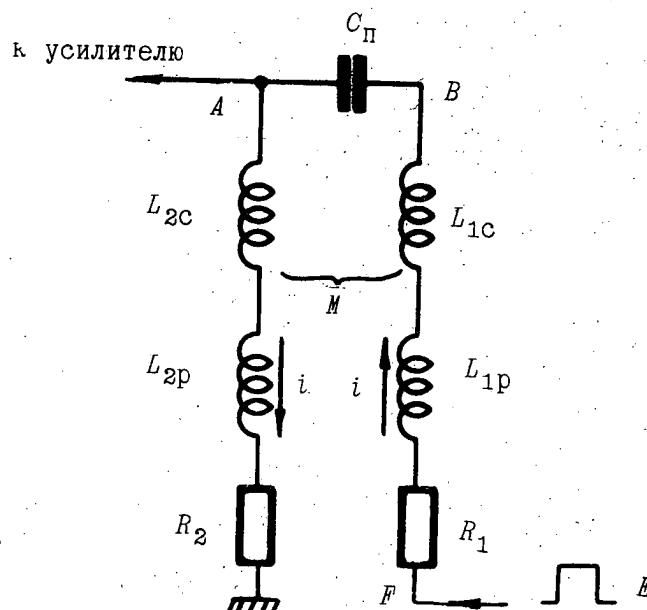


Рис.2

раторном виде:

$$U_A = ipL_2 - ipM.$$

Для подавления импульса записи необходимо, чтобы  $U_A = 0$ . При этом

условие компенсации записется как  $L_2 = M$  или, так как  $M = k\sqrt{L_1 L_2}$

$$L_2 = kL_1 . \quad (1)$$

Для устранения искажения импульса записи на сигнальной пластине (точка В на рис.2) необходимо, чтобы падение напряжения на обмотке  $L_1$  было минимальным. Очевидно, условием этого будет выполнение равенства:

$$L_1 = kL_2 . \quad (2)$$

Сравнивая (1) и (2), приходим к выводу, что для подавления импульса записи на входе усилителя и его неискаженной передачи на сигнальную пластину необходимо условие  $k = 1$  и  $L_1 = L_2$ .

Наилучшим обеспечением полной связи между обмотками является намотка их на общий магнитопровод (тороид), причем витки обеих обмоток укладываются параллельно (практически обе обмотки мотаются одновременно слегка скрученным двойным проводом).

Рассмотрим теперь влияние на работу схемы паразитных емкостей обмоток трансформатора, электродов трубки и монтажа.

Предположим вначале, что паразитных емкостей нет совсем, трансформатор идеален и достигнута полная нейтрализация импульса записи. Это означает, что падения напряжения на обмотках  $L_1$  и  $L_2$  отсутствуют. Из этого следует, что включение емкостей параллельно любой обмотке или части ее не может изменить баланса схемы, поскольку на таких емкостях не окажется переменного напряжения. Следовательно, емкость входа усилителя и межвитковая емкость обмоток не влияют на нейтрализацию сигнала записи. Емкость обмоток друг на друга также не приводит к разбалансу, так как ток заряда ее протекает через одинаковые части обеих обмоток в противоположных направлениях, аналогично тому заряд емкости  $C_p$ .

Наличие емкости сигнальная пластина - земля ( $C_1$  на рис. 3) приводит к появлению дополнительного тока заряда этой емкости через обмотку  $L_1$ , увеличивающего общий ток через нее. Естественно, это приводит к разбалансу схемы. Чтобы оценить влияние этой емкости, предположим для примера, что величина ее равна  $10 \text{ pF}$ , амплитуда импульса записи  $20 \text{ e}$ .

и длительность фронта  $t_\phi$  0,5 мкесек. Для простоты будем считать, что время нарастания напряжения импульса записи меняется по линейному закону, тогда ток заряда емкости  $C_1$

$$i_1 = \frac{EC_1}{t_\phi} = \frac{20 \cdot 10^{-11}}{5 \cdot 10^{-7}} = 400 \text{ мка},$$

т.е. превышает ток сигнала трубы на два порядка и может вызвать сильную перегрузку усилителя.

Разбаланс, вносимый емкостью  $C_1$ , можно устраниить включением компенсирующей емкости  $C_K$  между сеткой трубы и источником импульса записи (рис. 3). Действительно, предположим, что за счет включения емкости  $C_K$  баланс токов, текущих по обмоткам  $L_1$  и  $L_2$ , восстановился, тогда падение напряжения на них отсутствует и емкости  $C_1$  и  $C_K$  в любой момент времени находятся под одним и тем же напряжением. В случае, если  $C_1 = C_K$  через них текут одинаковые токи. Увеличение токов обмоток  $L_1$  и  $L_2$  на одинаковую величину не приводит к разбалансу, а следовательно, первоначаль-

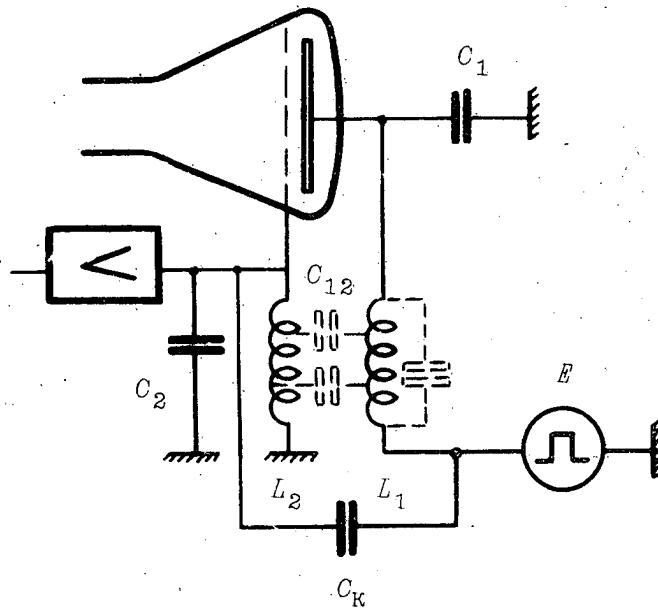


Рис. 3

ное допущение о наличии баланса справедливо, если

$$C_1 = C_K. \quad (3)$$

Для устранения колебательных процессов в трансформаторе параллельно

обмотке  $L_2$  следует ставить демпфирующее сопротивление (обычно несколько килоом). Практически схему, показанную на рис. 3, можно применять при использовании трубок ЛН-4 с временем записи порядка 4 мксек. В этом случае допустим фронт импульса записи около 1 мксек и амплитуда его не выше 20-30 в.

В запоминающем устройстве БЭСМ трансформатор имел две обмотки, намотанные скрученным проводом ПЭШО диаметром 0,2 мм на тороидальный оксиферовый сердечник с магнитной проницаемостью 1000. Размеры сердечника:  $D = 30$  мм,  $d = 18$  мм и  $h = 7$  мм. При этом сигнал считывания превышал помеху от импульса записи более чем в два раза.

Однако для построения запоминающего устройства на трубках с временем обращения 0,5 - 0,8 мксек, требующих амплитуду импульса записи порядка 50в, описанная схема мало пригодна.

Приведем пример. Пусть для работы трубы, имеющей ёмкость сетка - сигнальная пластина  $C_{\Pi} = 1000$  пФ, требуется импульс записи амплитудой 50 в с фронтом 0,1 мксек. Считая для простоты закон нарастания импульса записи линейным, получаем ток заряда ёмкости

$$i_3 = \frac{EC_{\Pi}}{t_{\Phi}} = \frac{50 \cdot 10^{-9}}{0,1 \cdot 10^{-6}} = 0,5 \text{ а.}$$

Если даже пренебречь индуктивностью рассеяния обмоток, то за счет активного сопротивления  $R_2$  на выходе схемы появится напряжение  $U_A$  не менее

$$U_A = i_3 R_2.$$

Практически сопротивление провода обмотки трудно сделать менее 0,05 ом (если сеточную обмотку мотать более толстым проводом, то значительно увеличится индуктивность рассеяния). Считая  $R_2 = 0,05$  ом и ток заряда ёмкости  $i_3 = 0,5$  а, получаем  $U_A = 25$  мв. Из-за наличия индуктивности рассеяния  $L_{2p}$  и непостоянства тока  $i_3$  (в какой-то момент времени он будет больше вычисленного, так как заряд ёмкости  $C_{\Pi}$  происходит не по линейному закону) амплитуда импульса в точке А будет больше вычисленной. Сигнал же считывания у трубок, рассчитанных на большую ёмкость памяти (4096 элементов) не превосходит нескольких милливольт.

Нами была предложена схема подавления импульса записи на входе усилителя (рис. 4), дающая результаты на порядок лучше, чем описанная выше. В отличие от предыдущей схемы усилитель подключается не к сетке трубы

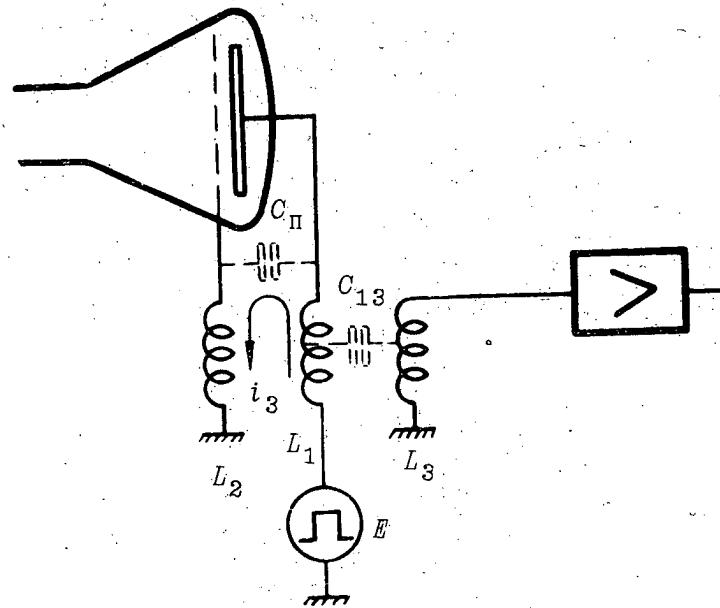


Рис. 4

ки, а к третьей обмотке трансформатора. Как и в предыдущем случае, связь между всеми тремя обмотками должна быть максимальной.

Ток заряда емкости  $C_{\Pi}$  при записи протекает по обмоткам  $L_1$  и  $L_2$  в противоположных направлениях, не создавая в сердечнике магнитного потока. Вследствие этого при записи напряжения на входе усилителя не будет. При считывании ток сигнала, протекая по  $L_1$  и  $L_2$ , создает в сердечнике магнитный поток, возбуждающий в обмотке  $L_3$  сигнал считывания. Все три обмотки должны быть намотаны параллельно идущими проводами (т.е. тремя проводами, сложенными вместе). Необходимость этого для  $L_1$  и  $L_2$  доказана ранее (для уменьшения индуктивности рассеяния). Обмотка  $L_3$  должна иметь одинаковую связь с  $L_1$  и  $L_2$  и притом максимально большую.

Действительно, чем больше связь между  $L_1$  и  $L_3$ , тем меньше сигнал на обмотке  $L_3$ , вызываемый протеканием по ней тока заряда емкости  $C_{13}$  (емкость между обмотками  $L_1$  и  $L_3$ ), так как ток заряда этой емкости протекает по  $L_1$  и  $L_3$ , образуя встречные магнитные потоки. Чем больше связь между  $L_1$  и  $L_3$ , тем меньше результирующий поток и тем меньше напряжение на третьей обмотке при записи.

Рассмотрим влияние паразитных параметров трансформатора и монтажа на работу схемы.

На рис. 5 приведена схема включения трехобмоточного трансформатора.

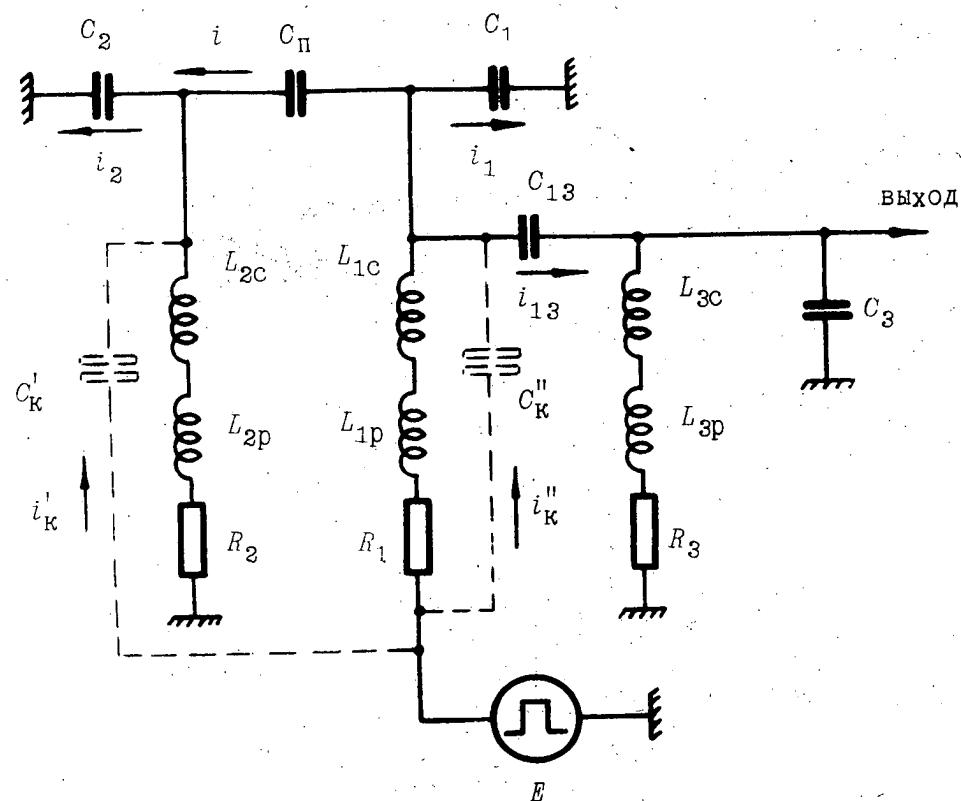


Рис. 5

На схеме:  $C_{\Pi}$  - емкость сетка-сигнальная пластина трубы,  $L_C$  - индуктивности связи обмоток,  $L_p$  - индуктивности рассеяния обмоток,  $C_1$  - емкость сигнальной пластины трубы на землю,  $C_2$  - емкость сетки трубы на землю,  $C_3$  - входная емкость усилителя,  $C_{13}$  - емкость между первой и третьей обмотками. Будем считать, что  $L_{1p} = L_{2p} = L_{3p} = L_p$  и  $R_1 = R_2 = R_3 = R$ .

Условием отсутствия магнитного потока в сердечнике, а следовательно напряжения на третьей обмотке, является равенство тока первой обмотки сумме токов второй и третьей обмоток. Согласно принятым на схеме обозначениям, ток первой обмотки равен  $i + i_1 + i_{13} - i_K$ , ток второй обмотки равен  $i - i_2 + i'_K$  и третьей  $i_{13}$ . Поэтому условие отсутствия

магнитного потока в сердечнике записется в виде

$$i + i_1 + i_{13} - i_K'' = i - i_2 + i_K' + i_{13}$$

или

$$i_1 - i_K'' = i_K' - i_2. \quad (4)$$

Предположим, что токи, протекающие по первой и второй обмоткам, равны, т.е. компенсация достигнута (током  $i_{13}$  пренебрегаем). Тогда падение напряжения на активном сопротивлении и индуктивности рассеяния первой и второй обмоток одинаково и, предположим, равно  $F(E)$ , где  $F$  – операторная функция, учитывающая все активные и реактивные сопротивления, влияющие на это напряжение. Токи, входящие в (4), можно определить через  $E$  и  $F(E)$

$$\begin{aligned} i_1 &= [E - F(E)] C_1 p \\ i_K'' &= F(E) C_K'' p \\ i_K' &= [E - F(E)] C_K' p \\ i_2 &= F(E) C_2 p \end{aligned}$$

Подставляя значения токов в (4), получим

$$[E - F(E)] C_1 p - F(E) C_K'' p = [E - F(E)] C_K' p - F(E) C_2 p$$

или после преобразования

$$Ep (C_1 - C_K') + F(E)p (C_K' + C_2 + C_1 - C_K'') = 0.$$

Для того, чтобы это равенство удовлетворялось для любых частот, необходимо, чтобы коэффициенты при  $p$  и  $Fp$  были равны нулю, т.е.

$$C_1 = C_K' \quad (5)$$

$$C_2 = C_K''. \quad (6)$$

Равенство (5) аналогично выражению (3) и означает, что для компенсации тока  $i_1$ , протекающего только по первой обмотке, необходимо добав-

вить ток  $i'_K$ , протекающий только по второй обмотке. Очевидно, для этого требуется равенство емкостей  $C_1$  и  $C'_K$ . Равенство емкостей  $C_2$  и  $C''_K$  необходимо для уравнивания сопротивлений, через которые протекает ток заряда емкости  $C_{\Pi}$ , так как только в этом случае напряжения на  $C_1$  и  $C'_K$ , а следовательно, и токи через них в любой момент времени будут одинаковы.

Равенство (5) является основным условием нейтрализации импульса записи, а равенство (6) – второстепенным, влияющим в значительно меньшей степени.

Практический схема включения трехобмоточного трансформатора показана на рис. 6. Здесь  $C'_K$  и  $C''_K$  конденсаторы постоянной емкости, а  $C_1$  и  $C_2$  – подстроечные. При настройке схемы сначала, изменяя  $C_1$ , добиваются ра-

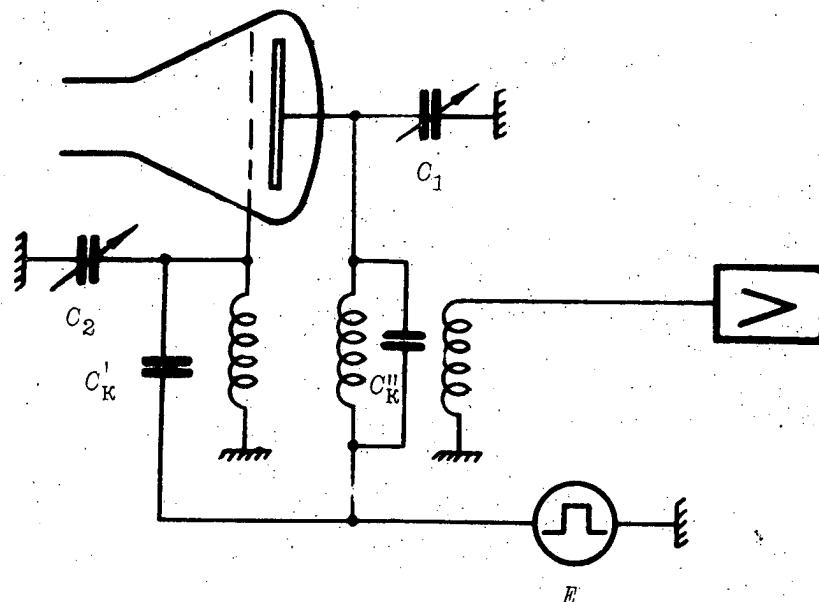


Рис. 6

венства  $C_1 = C'_K$  (по минимуму помехи на входе усилителя), а затем уже при помощи второго конденсатора уравнивают емкости  $C_2$  и  $C''_K$ .

Включение подстроечных конденсаторов, показанное на схеме, удобно

тем, что ротор их заземлен и при подстройке не вносится дополнительной емкости отвертки. Схема очень критична к главному условию компенсации  $C_1 = C'_K$ . Эти емкости должны быть равны с точностью до десятых долей пикофарады. В связи с этим желательно вместо одного подстроечного конденсатора  $C_1$  включать два параллельно, из которых один обычный типа КПК, а другой воздушный, рассчитанный на изменение емкости в  $1,5 \div 2 \text{ nF}$ , с очень плавной регулировкой.

Компенсация емкостей трубки и монтажа может быть осуществлена и другим способом (рис. 7). Очевидно, условием отсутствия магнитного потока в сердечнике трансформатора будет  $I_1 = I_2 + I_3$ , где  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  токи обмоток. Иначе это равенство запишется в виде  $i_K = i_1 + i_2$ .

Считая токи  $i_1$  и  $i_2$  малыми по сравнению с током заряда емкости  $C_{\Pi}$   $i$ ,

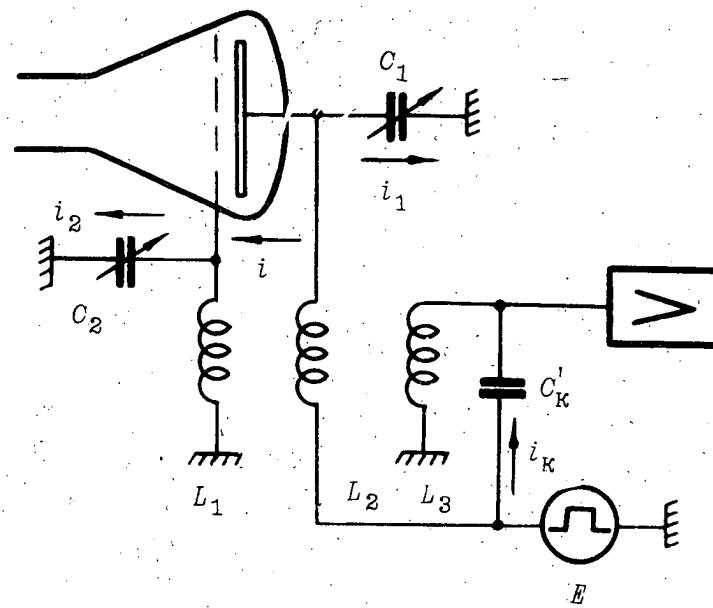


Рис. 7

можно написать:

$$i_1 \approx (E - iZ)C_1 p$$

$$i_2 \approx iZC_2 p$$

$$i_K \approx EC_K p,$$

где  $Z = R + pL_p$  – полное сопротивление обмотки.

Сопротивлением  $Z$  третьей обмотки при вычислении  $i_k$  пренебрегаем, считая его значительно меньше сопротивления малой емкости  $C_k$  току  $i_k$ .

Тогда условие отсутствия магнитного потока в сердечнике запишется так:

$$EC_k p = (E - iZ) C_1 p + iZ C_2 p$$

или после преобразования

$$EC_k p = EC_1 p + iZ p (C_2 - C_1).$$

Чтобы последнее равенство выполнялось при любой частоте (т.е. для любого  $p$ ), необходимо равенство коэффициентов при одинаковых степенях  $p$  в левой и правой частях равенства.

Это приводит к выражениям

$$C_1 = C_k \quad (7)$$

$$C_1 = C_2. \quad (8)$$

Как и в предыдущей схеме равенство (7) является главным условием нейтрализации импульса записи, а равенство (8) – второстепенным. Ввиду того, что при выводе условий баланса мы пренебрегли падением напряжения от токов  $i_1$ ,  $i_2$  и  $i_{13}$  на сопротивлении первой обмотки  $Z_1 = R_1 + p L_{1p}$ , то соблюдение (7) и (8) еще не приводит к полному подавлению импульса записи на входе усилителя.

Ввиду того, что из схем, изображенных на рис. 6 и 7, первая дает несколько лучшие результаты, применение ее предпочтительней.

Осциллограммы (рис. 8) иллюстрируют работу схемы, показанной на рис. 6.

Амплитуда импульса записи, подаваемого на сигнальную пластину трубки, равна 60в, длительность 1 мксек, длительность фронтов 0,1 мксек. Ток луча трубки в импульсе 6 мка.

Из сравнения осциллограмм (рис. 8, б с 8, в) видно, что помеха, возникаю-

шая на сигнальной пластине трубы в момент записи, обусловлена лишь тем, что луча трубы, а не импульсом записи.

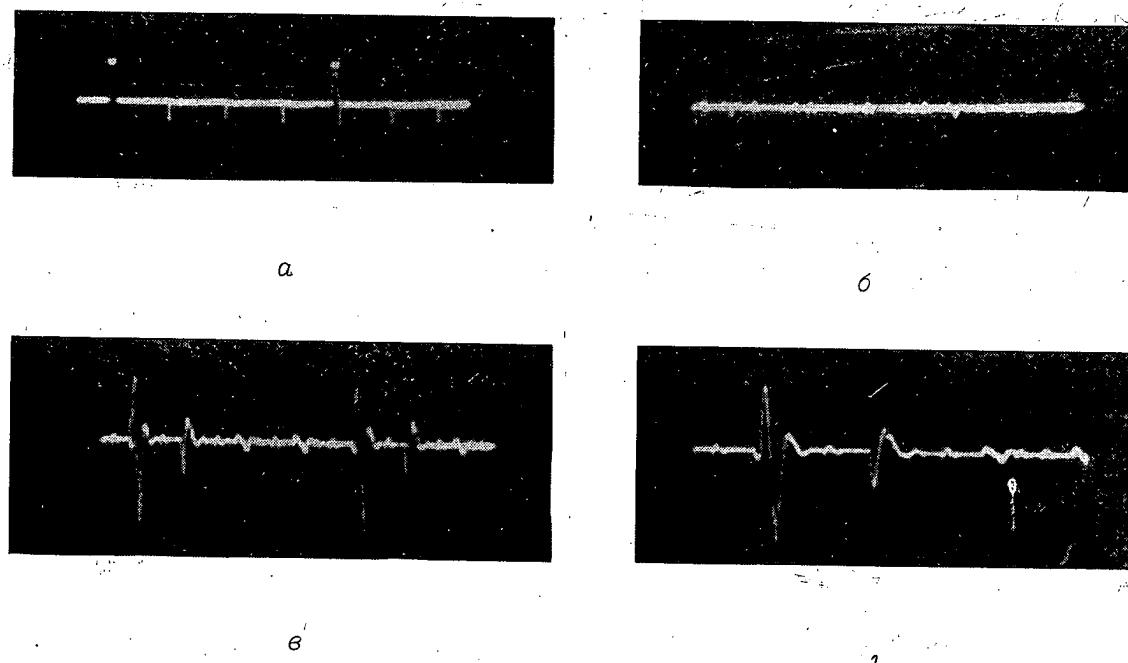


Рис.8. Осциллограмма напряжений:

а - на сигнальной пластине трубы; импульсы записи подаются через каждые четыре модулирующих импульса; б - на выходе усилителя (усилитель изменяет фазу сигнала на обратную) в отсутствии анодного напряжения трубы; в - там же при включенном анодном напряжении трубы; видны запись "1", считывание "1" (оно же запись "0") и два считывания "0", далее процесс повторяется; г - то же, но на более быстрой развертке.

Поступило 3/III - 1958 г.

Зак. 60.

Тип. 500.

ИТМ и ВТ АН СССР. Москва, Ленинский проспект, 51.